13èmes journées du GDR Incendie 29, 30 juin
et 01 juillet 2011 ETiC (IRSN/IUSTI) et DGA
Techniques Navales - Marseille

Étude expérimentale et modélisation de la pyrolyse d'une litière d'aiguilles de pin

Justin ZAIDA

Institut P' • UPR CNRS 3346
ENSMA
Téléport 2 - 1 avenue Clément Ader BP 40109
86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cédex

Plan de la presentation

- Introduction - Contexte de la thèse - Démarche de travail.
- Étude expérimentale de la dégradation thermique :
  - *A l'échelle de la particule : ATG-IRTF*
  - *A la petite échelle : Cône Calorimètre-IRTF*
- Proposition d'un mécanisme réactionnel et calcul des constantes cinétiques
- Discussion et Questions.

Enjeux de l'étude

Contribuer à la description du processus de dégradation thermique du milieu végétal

- Proposer un modèle de pyrolyse de la végétation typique Méditerranéenne

- Décrire l'évolution de la formation des polluants gazeux

- Implémenter un modèle de combustion non infiniment rapide et à plusieurs espèces

Améliorer le code de calcul SAFIR

Projet impliquant 3 partenaires :

- Institut Pprime (Poitiers),
- LPCE (Ouagadougou),
- IUSTI (Marseille)

Démarche de travail

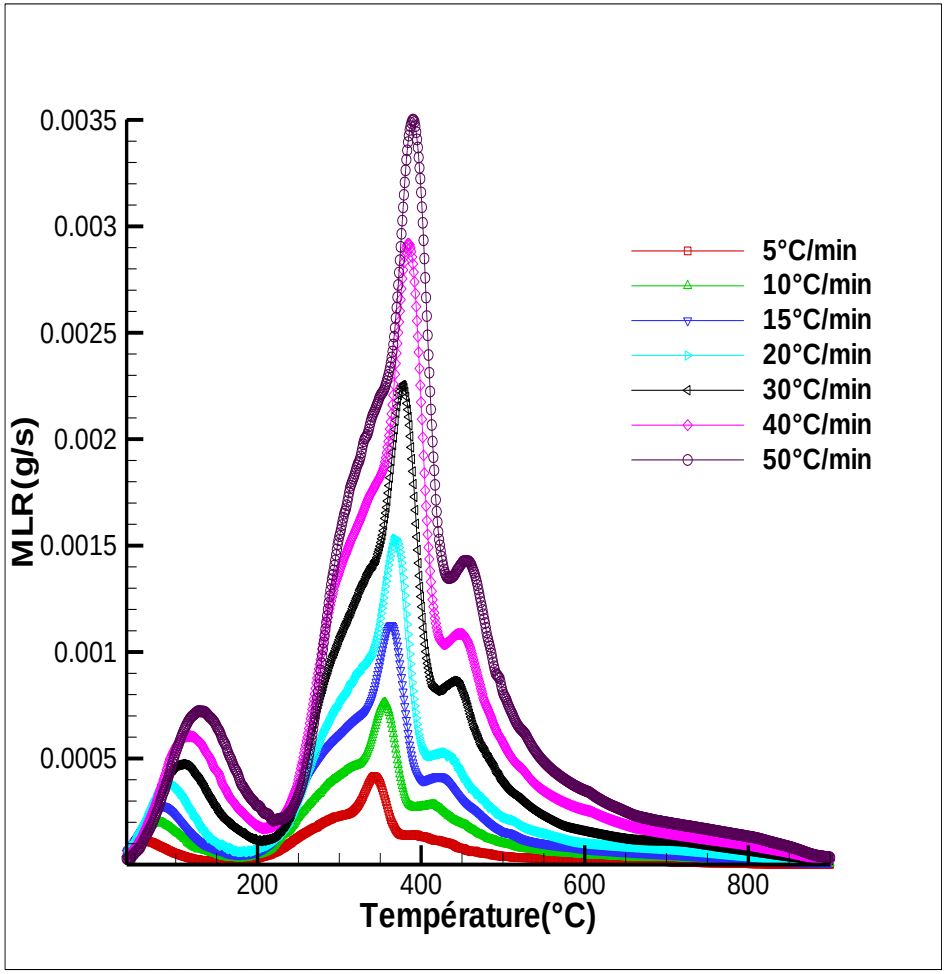
Echelles de travail	*Caractérisation physico-chimique*
Echelle matière	Caractérisation physique-thermique-chimique de la dégradation thermique : ATG – IRTF ⇩ Proposition d'un mécanisme cinétique de dégradation ⇩ Calcul des cstes cinétiques de chaque réaction : modèle des algorithmes génétiques
Petite échelle	⇩ Caractérisation de l'inflammation Compréhension des phénomènes mis en jeu au cours de la dégradation et de la combustion Vérification du mécanisme cinétique Essais en cône calorimètre-IRTF + Horiba ⇩ Validation des cstes cinétiques par simulation des essais cône avec le code SAFIR

ETUDE à L'ECHELLE MATIERE

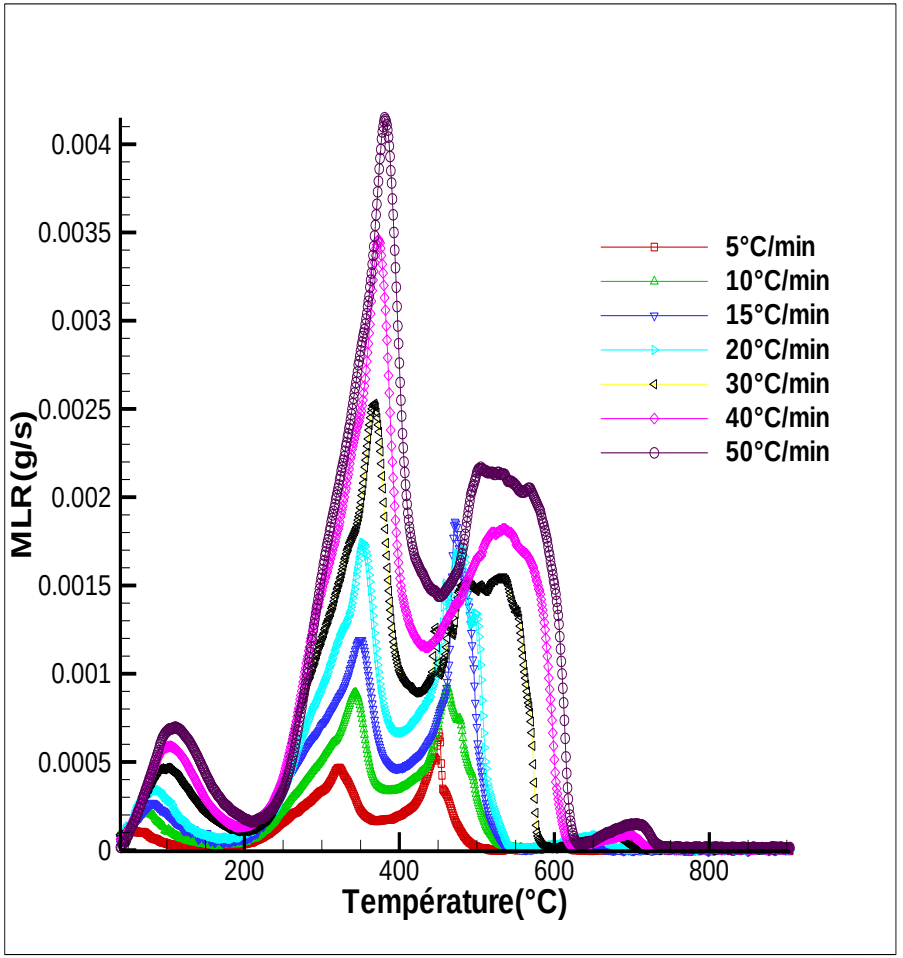
Analyses Thermogravimétriques

Évolution des vitesses de perte de masse sous azote et sous air

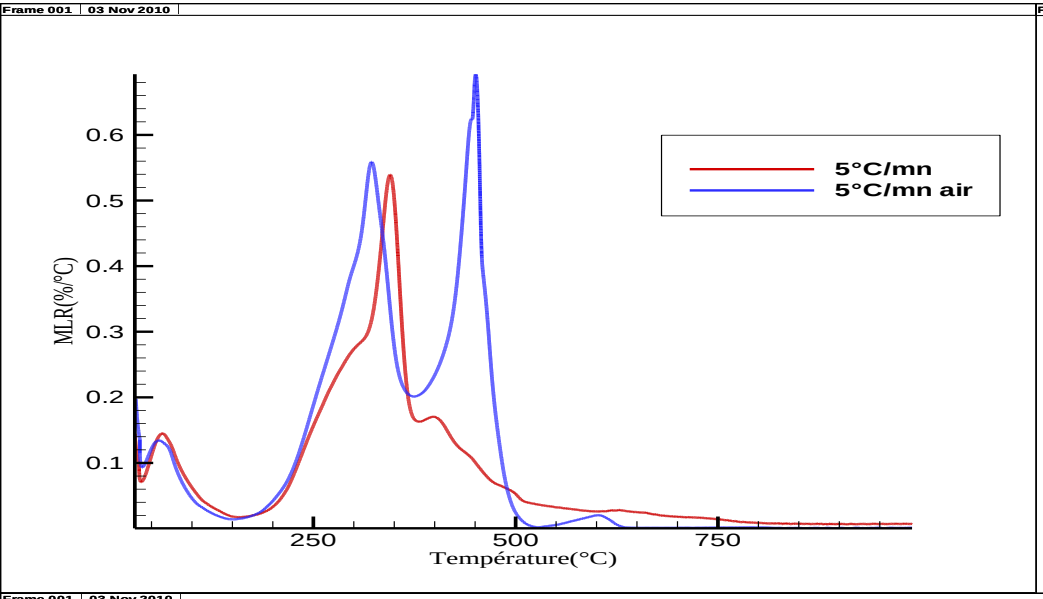
Sous AZOTE

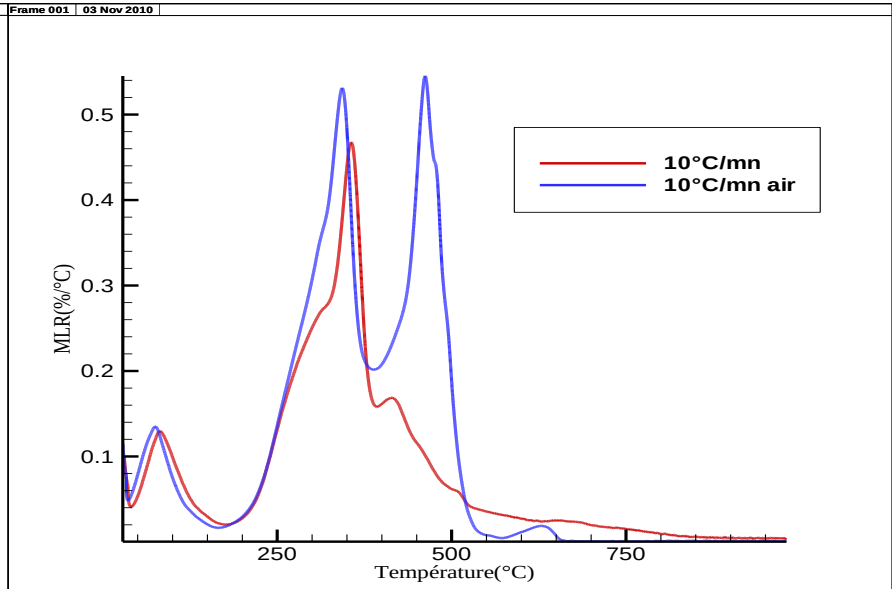


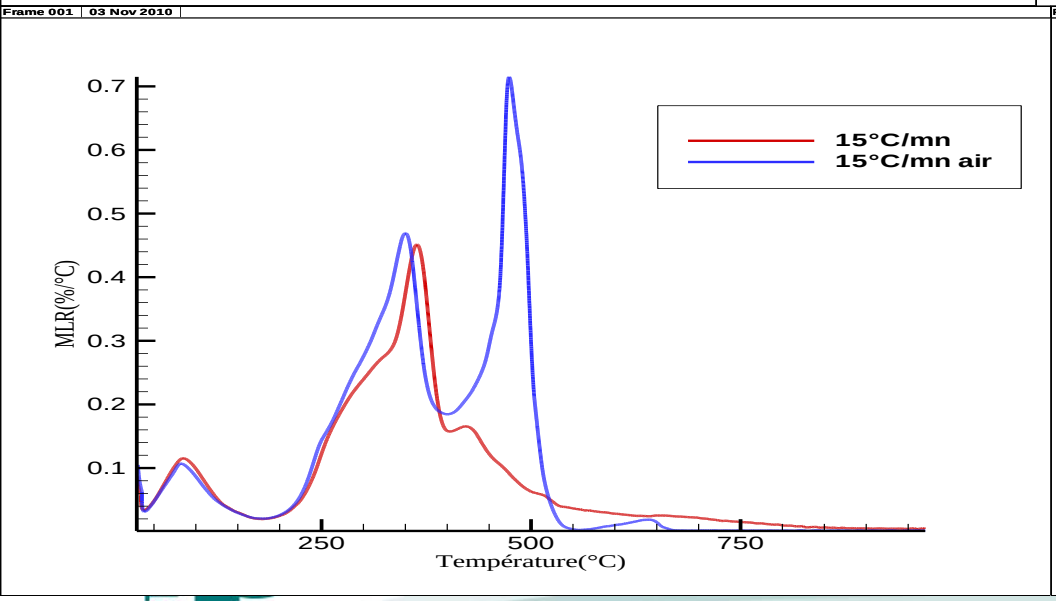
Sous AIR

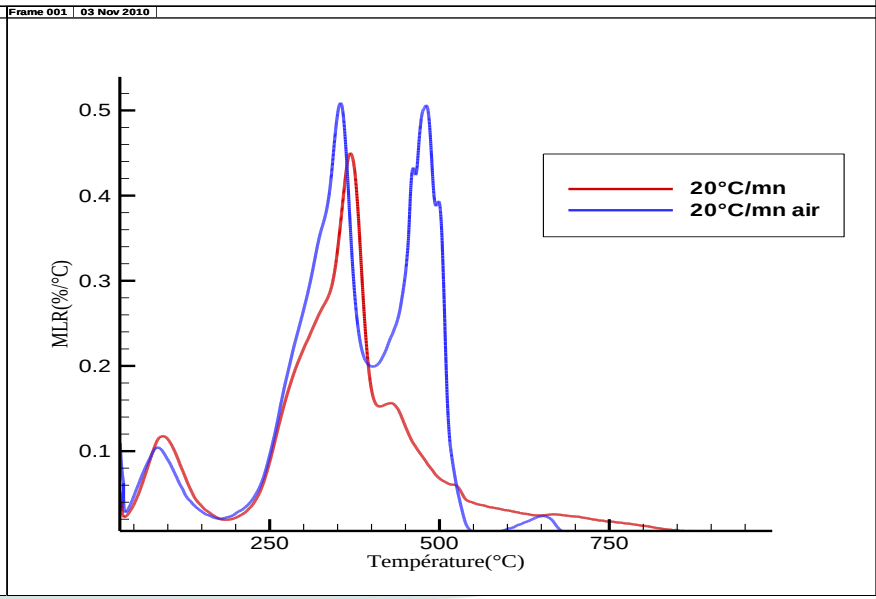


Comparaison des vitesses de pertes de masse sous azote et sous air

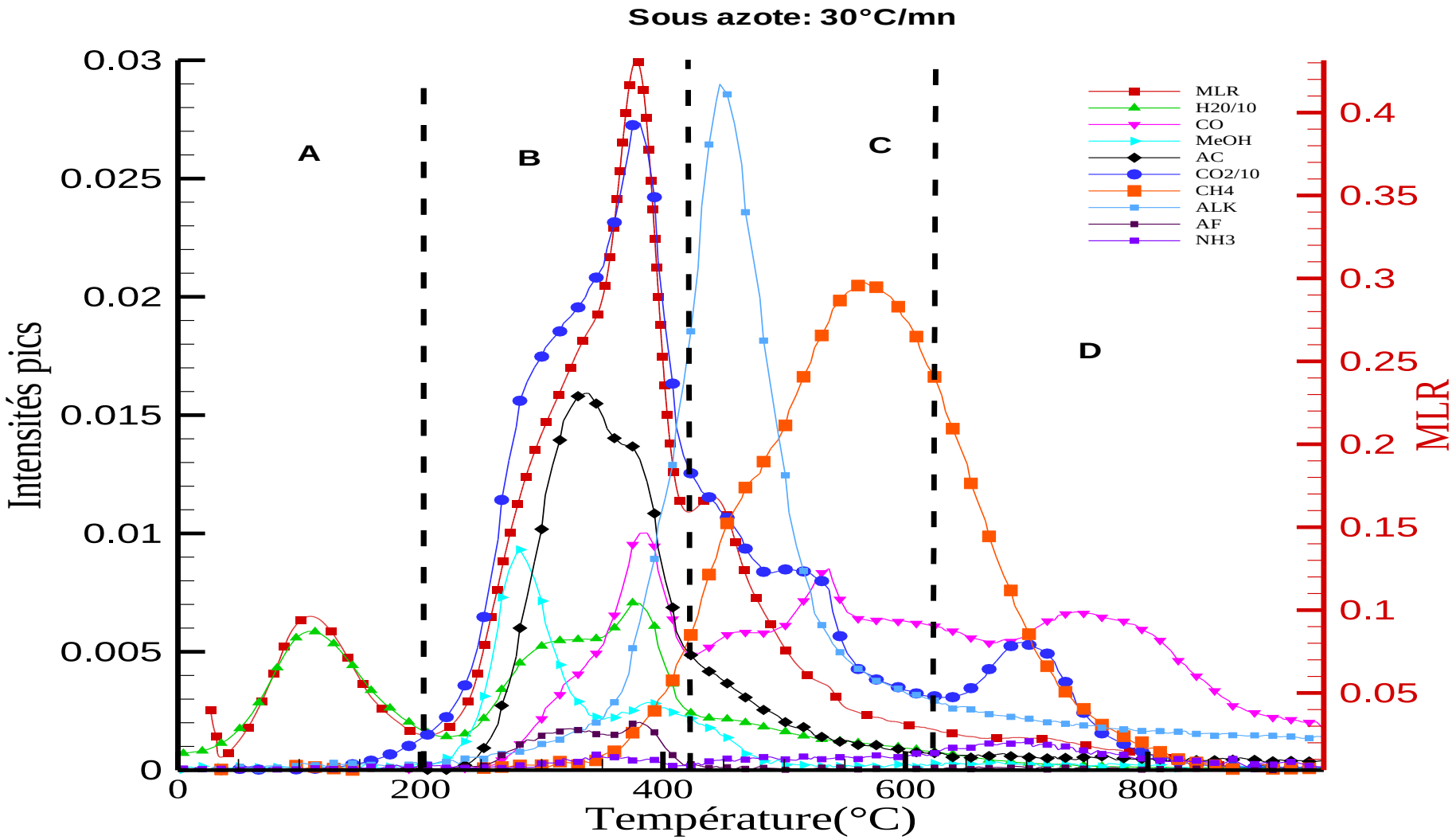




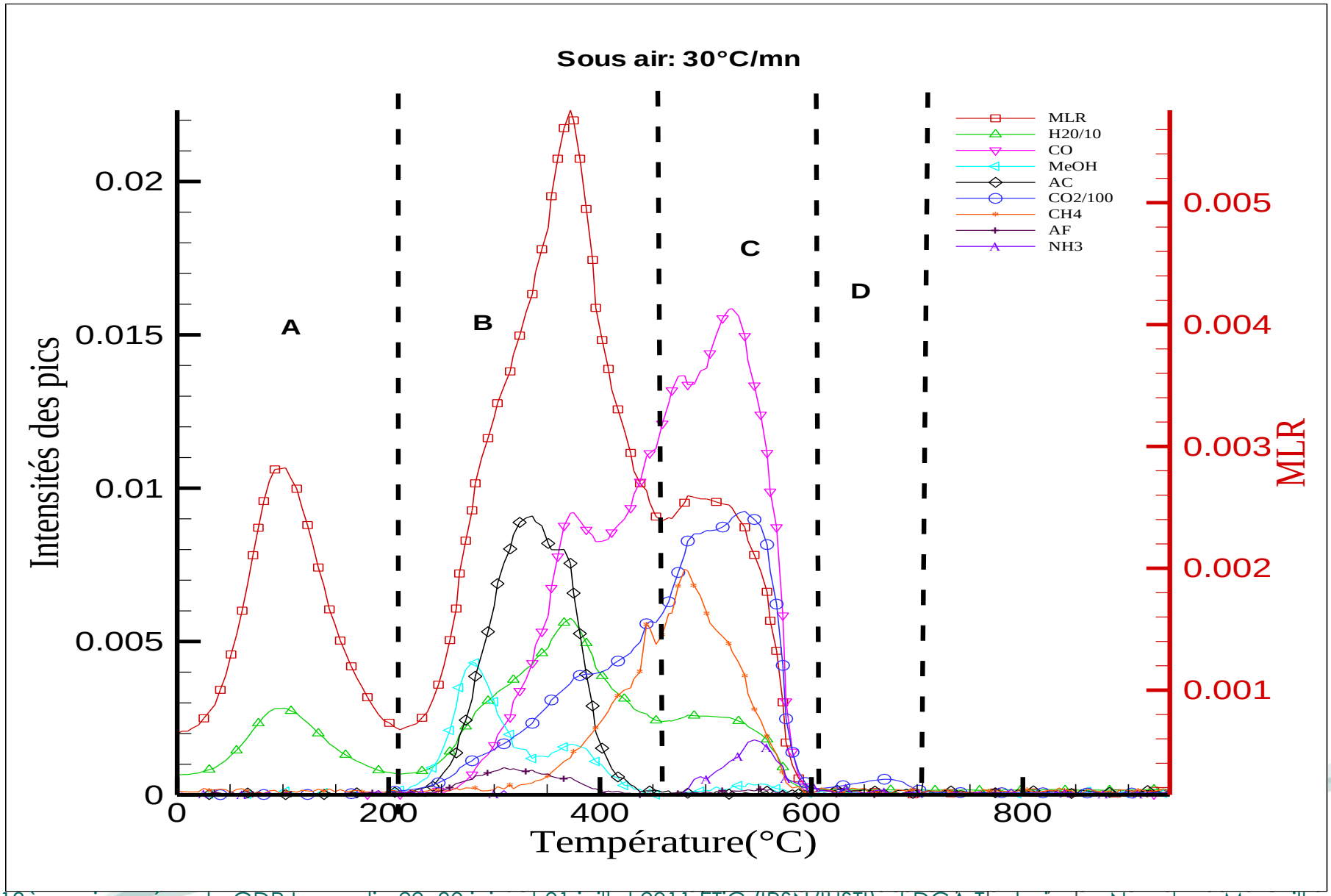




Couplage vitesse de perte de masse et effluents gazeux sous azote



Couplage vitesse de perte de masse et effluents gazeux



Bilan des évolutions en TGA

	%PM	Gamme de T, en C	Produits gazeux émis	Atmos-phère
pic1	9.3	Tambiante-195	Déshydratation	Air
	9.5	Tambiante-205	Déshydratation	Azote
pic2	47.3	195-420	CO_2,AC, MeOH, AF, H_2O, CO,NH_3	Air
	47	205-420	CO_2,AC, MeOH, AF, H_2O, CO,NH_3	Azote
pic3	38.8	420-595	CH_4, CO,NH_3,CO_2,H_2O	Air
	20.7	420-1000	CH_4,ALK, CO	Azote
pic4	1.1	595-720	CO_2	Air
Residu	3.2	1000	–	Air
	26.7	1000	–	Azote

ESSAIS à la PETITE ECHELLE

Cône calorimètre

Notre étude : Petite échelle

- **Étude de la décomposition thermique et de la combustion des aiguilles de pin à l'aide du dispositif normalisé du cône calorimètre.**

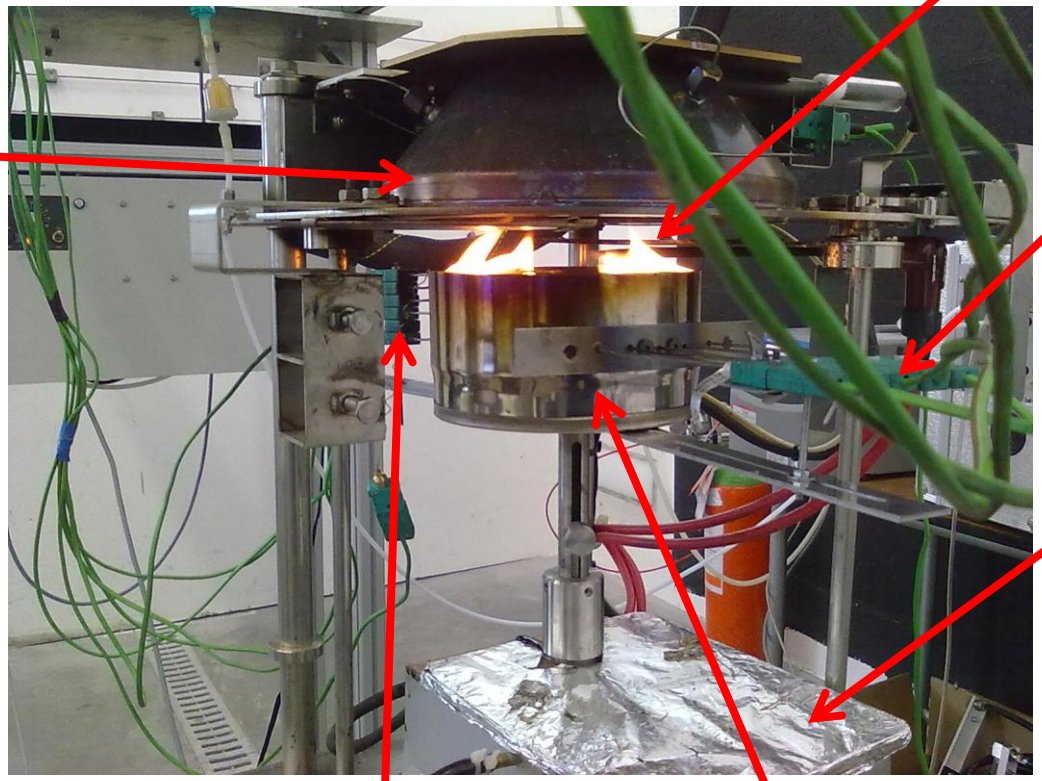
- **Flux de chaleur allant de 10 à 50 kW.m^{-2} sous atmosphère ambiante.**

- **Analyse des gaz à l'aide d'un analyseur Horiba PG 250 et d'une IRTF.**

Adéquation du modèle de pyrolyse précédemment développé à cette échelle à l'issue des résultats obtenus pour les délais d'inflammation, les vitesses de perte de masse et les émissions gazeuses.

Dispositif expérimental du cône calorimètre

Essais en cône calorimètre (CC) – ISO 5660 :

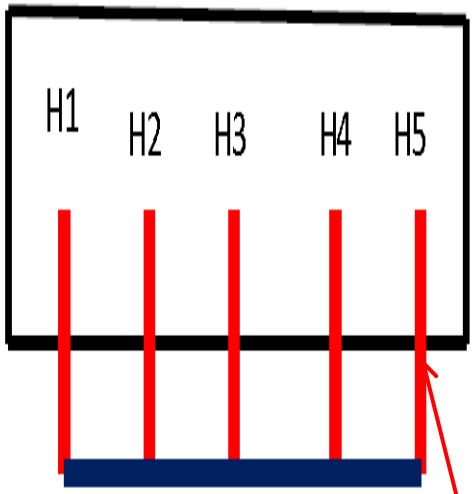


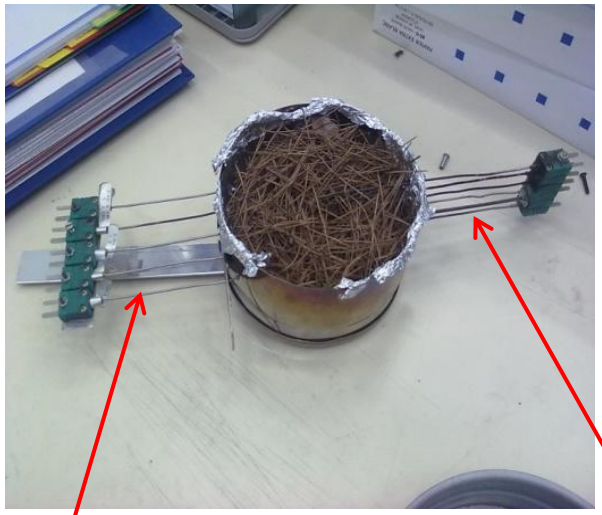
Couplage avec ≠ analyseurs : IRTF, Horiba PG 250

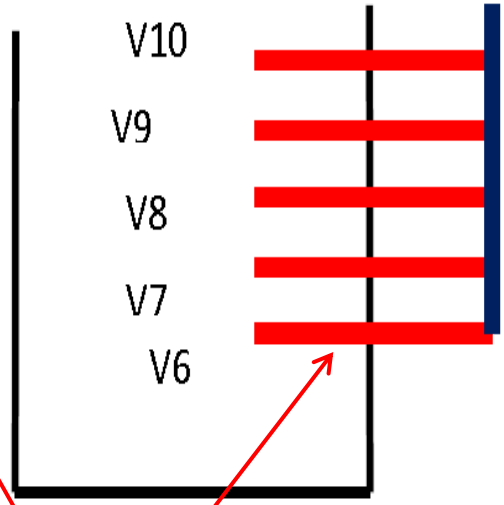
Gaz majoritaires : CO, CO_2, CH_4, NO, O_2 et H_2O

Gaz minoritaires : CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6, C_3H_6, C_3H_8, HCN, N_2O, NH_3, NO_2, SO_2

Disposition des thermocouples dans le porte-échantillon







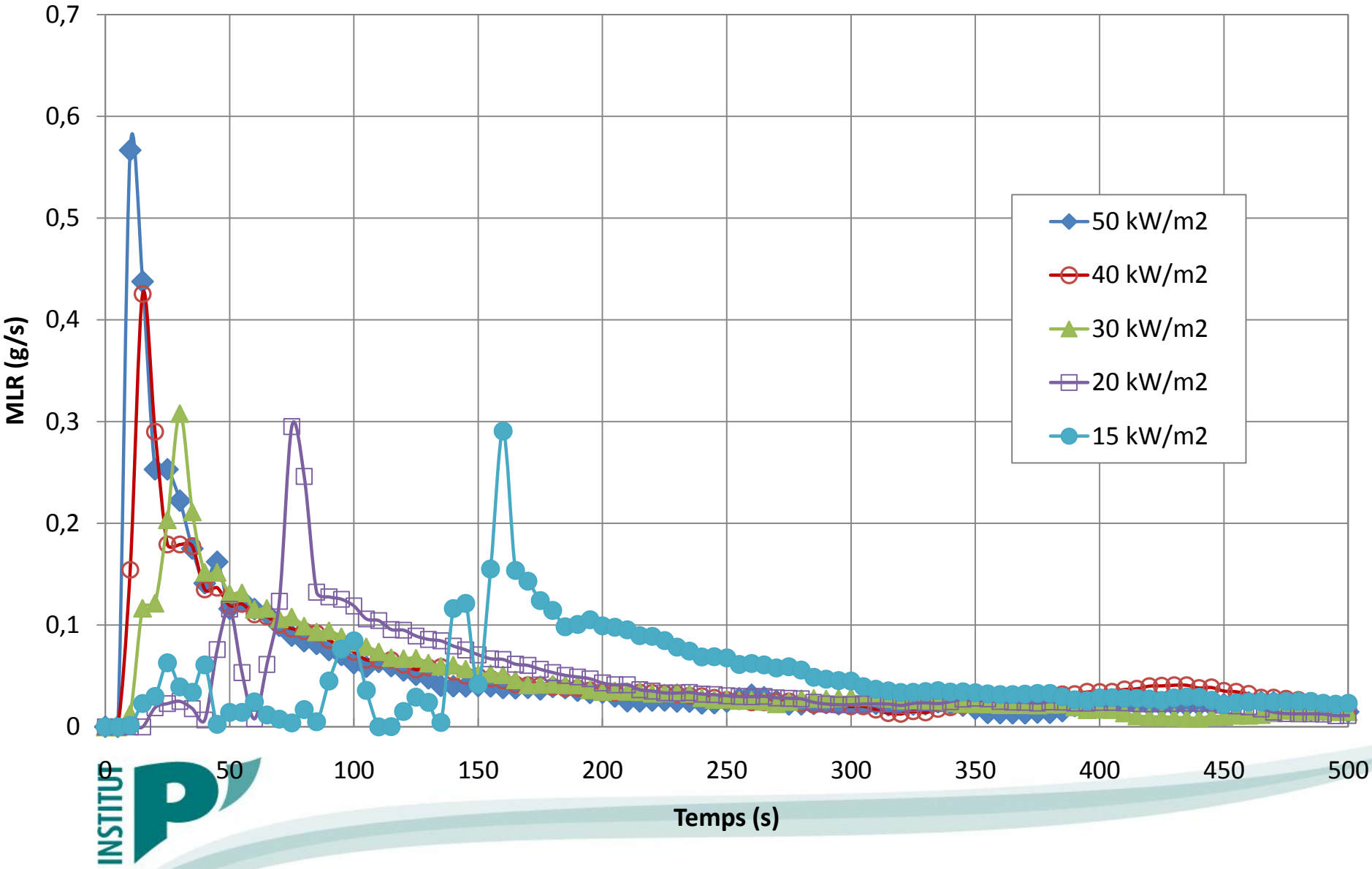
Thermocouple H5

Thermocouple V6

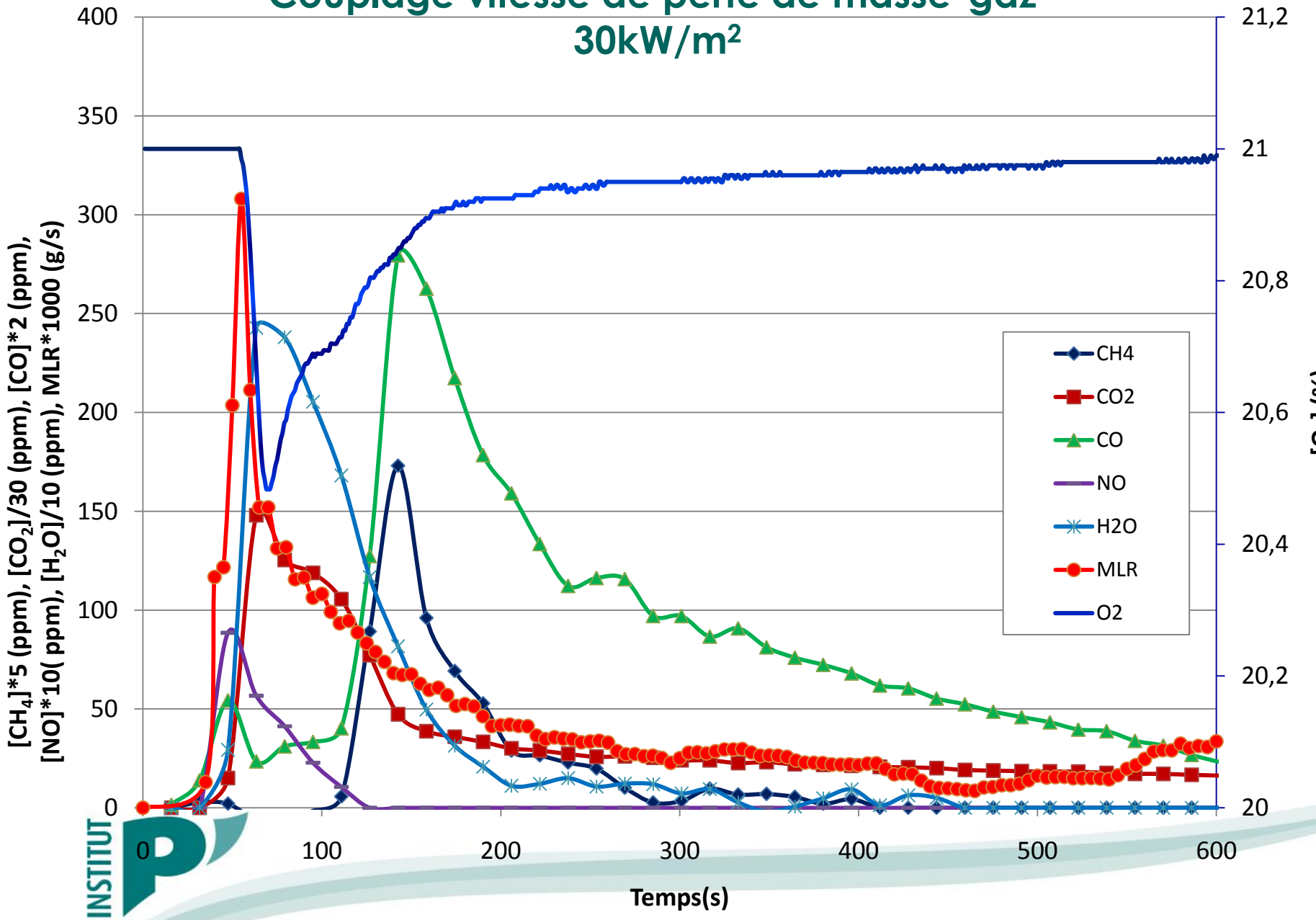
Disposition horizontale des thermocouples

Disposition verticale des thermocouples

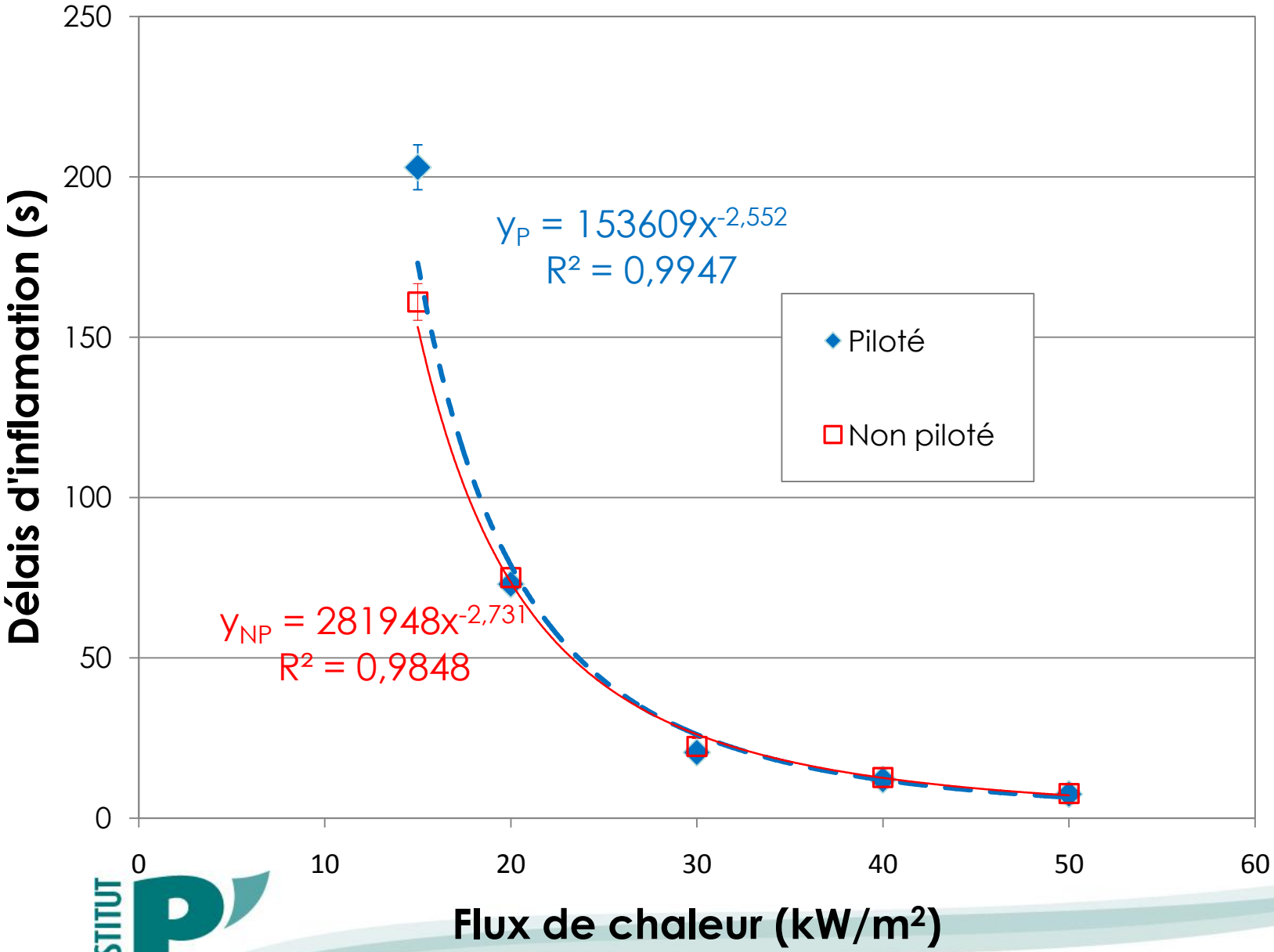
Vitesse de perte de masse sous cône



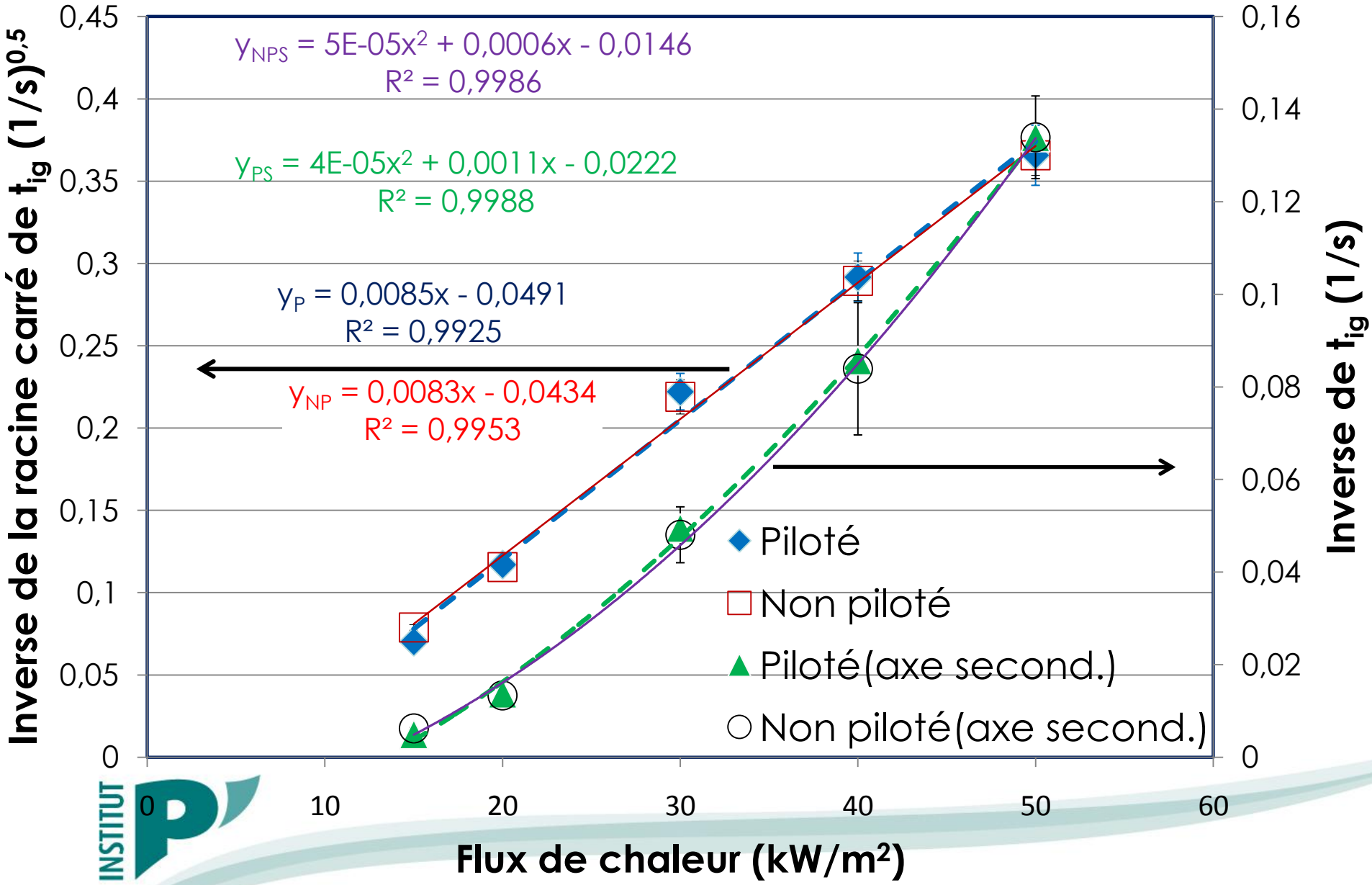
Couplage vitesse de perte de masse-gaz
30kW/m²



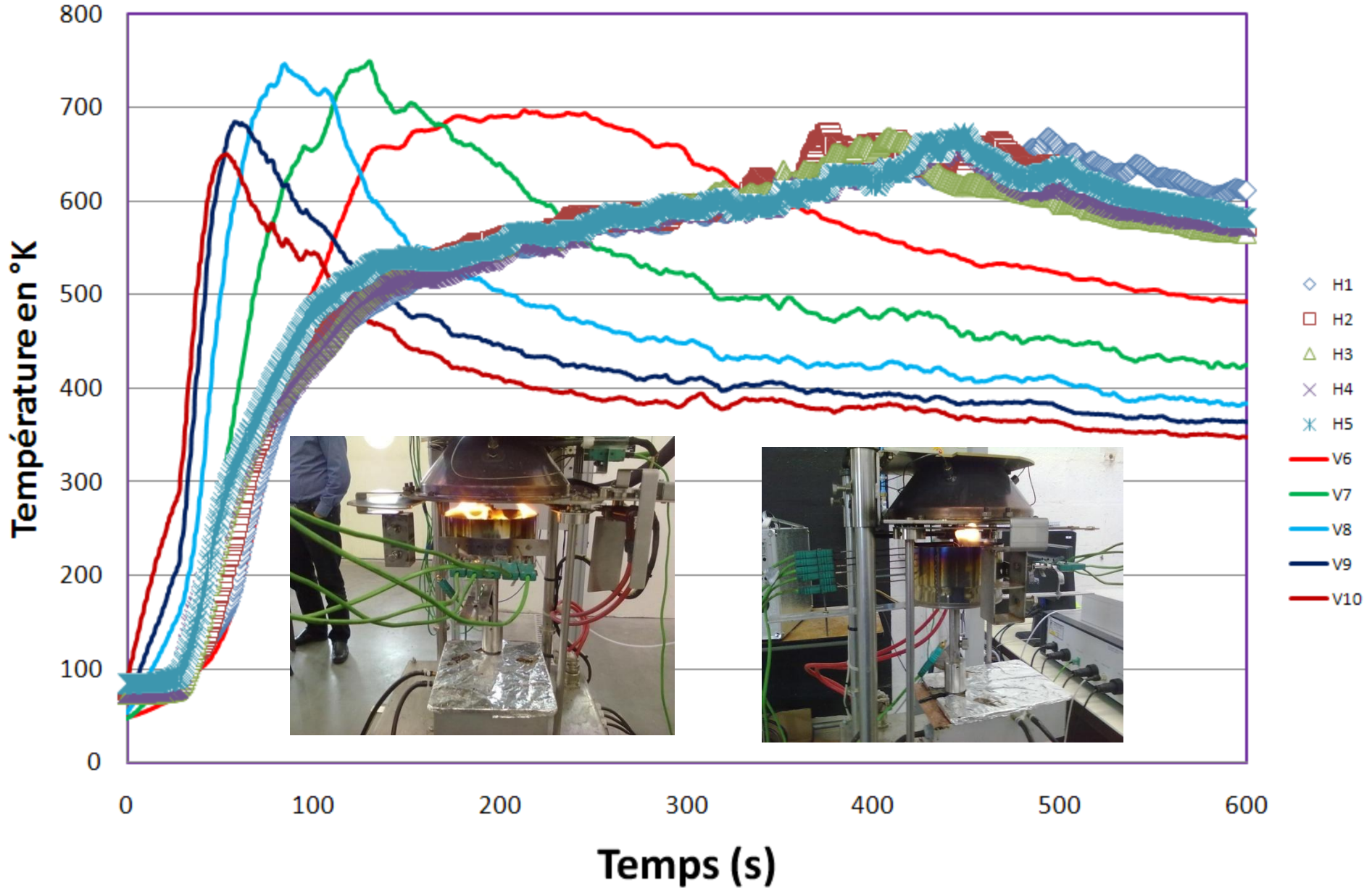
Étude du comportement thermique du lit d'aiguille de pin



Étude du comportement thermique du lit d'aiguille de pin



Évolution de la température à l'intérieur du lit



Étude du comportement thermique du lit d'aiguille de pin

L'inverse de la racine carré du temps d'inflammation en fonction du flux de chaleur est linéaire.

L'inverse du temps d'inflammation en fonction du flux de chaleur est une courbe.

Évolution des températures quasi-uniforme pour les thermocouples horizontaux

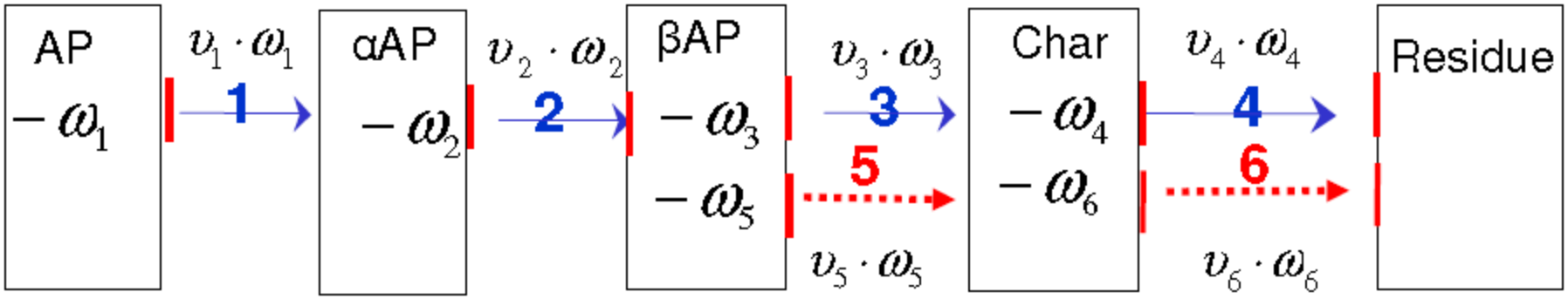
Variation du profil des températures pour les thermocouples verticaux

Constat : Le lit a un comportement similaire en allumage piloté et en non piloté

Conclusion: Le lit des aiguilles de pin est thermiquement épais en allumage piloté comme en non piloté(QUINTIERE)

Proposition d'un modèle de pyrolyse

Mécanisme de dégradation proposé



$$\frac{dm}{dt} = \sum MLR = \frac{dm_{AP}}{dt} + \frac{dm_{\alpha AP}}{dt} + \frac{dm_{\beta AP}}{dt} + \frac{dm_{char}}{dt} + \frac{dm_{résidue}}{dt}$$

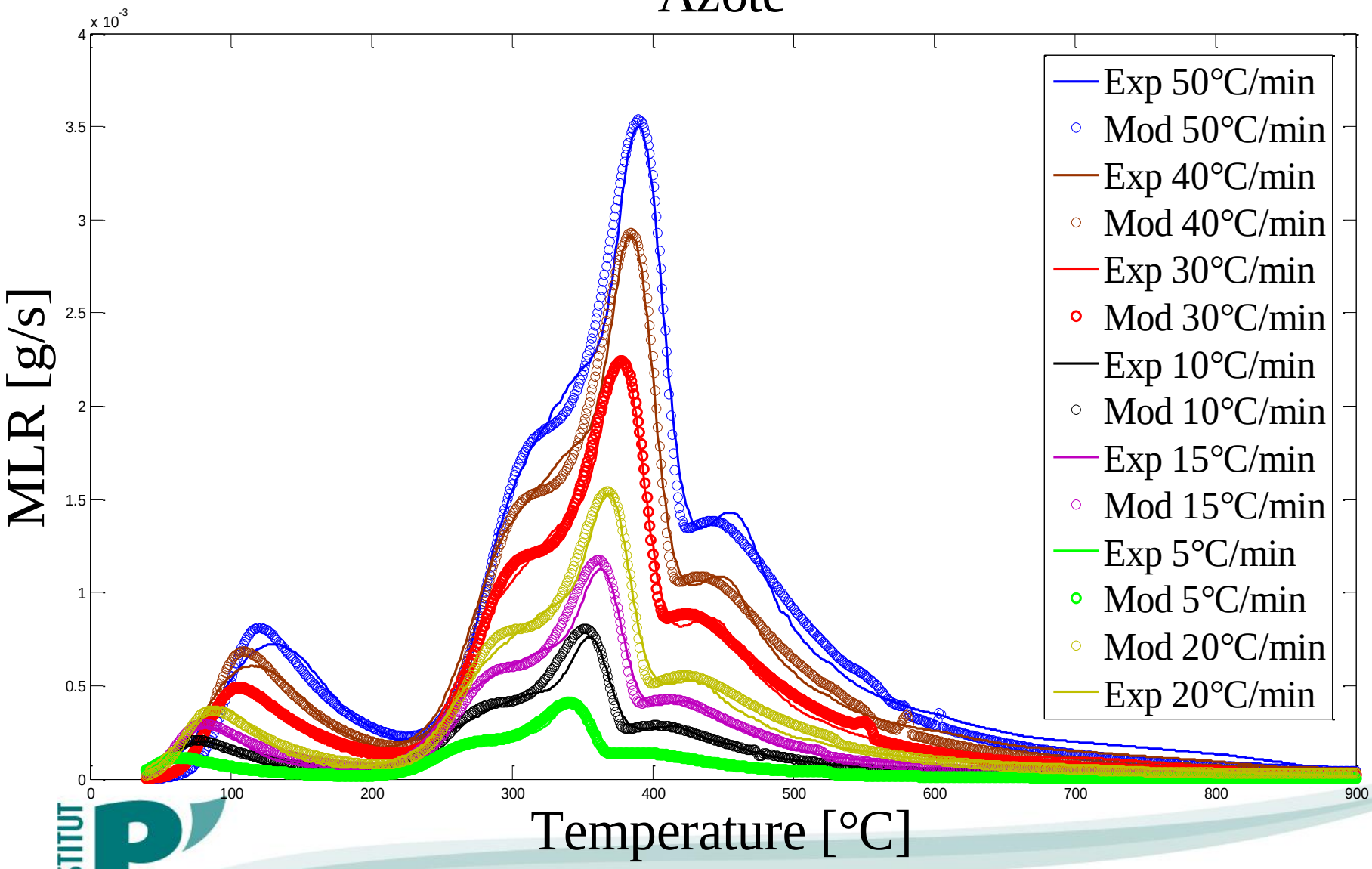
$$\frac{dm}{dt} = -\left((1-\nu_1)\,\omega 1 + (1-\nu_2)\,\omega 2 + (1-\nu 3)\,\omega 3 + (1-\nu_4)\,\omega 4 + (1-\nu_5)\,\omega 5 + (1-\nu_6)\,\omega 6\right)$$

$$\dot{\omega}_i = A_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) m_i^{n_i} y_{O_2}^{\delta}$$

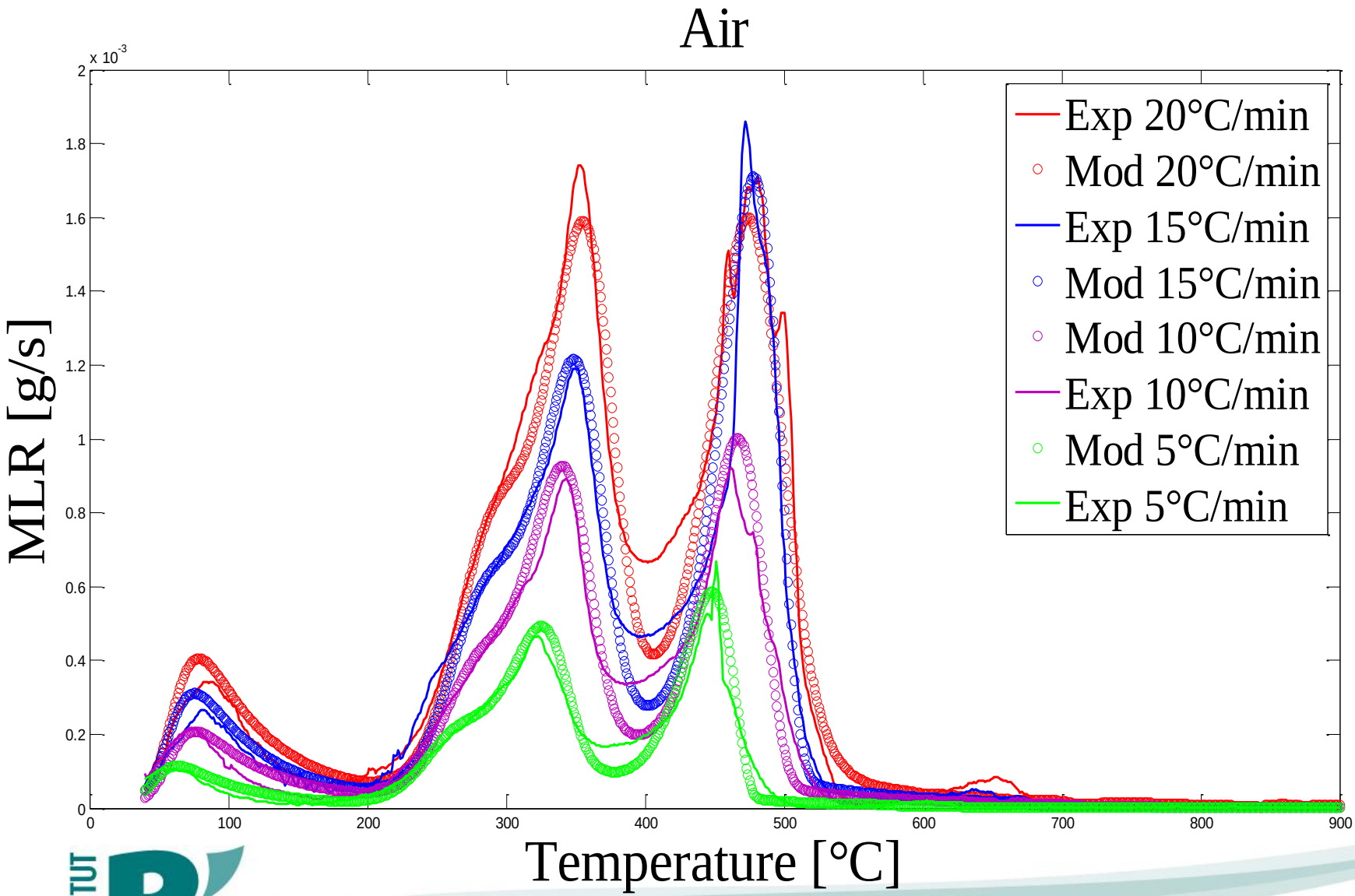
$\delta = 0$ N_2

$\delta = 1$ O_2

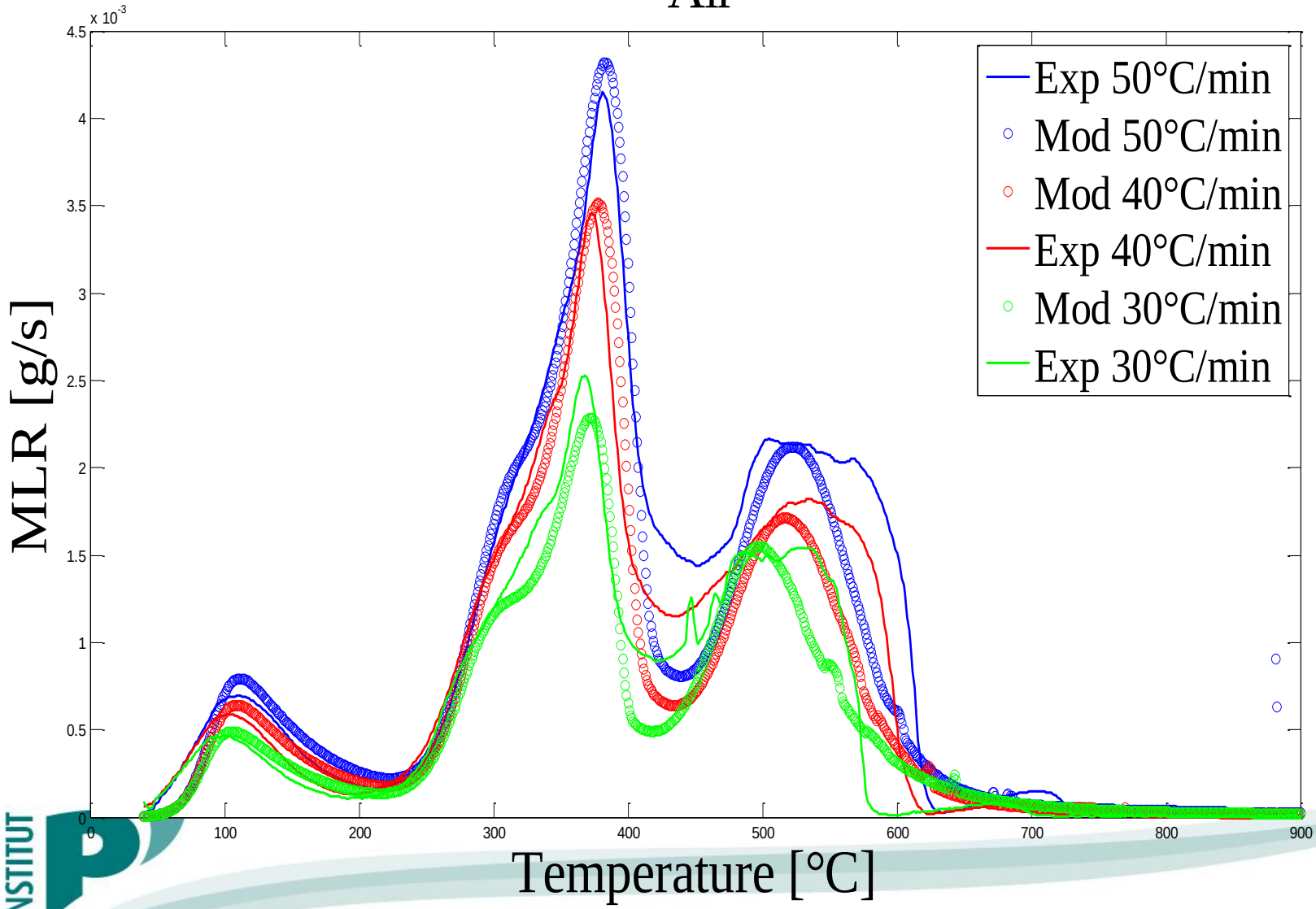
Validation du mécanisme proposé



Validation du mécanisme proposé



Validation du mécanisme proposé



Conclusion

Mécanisme validé sous azote

Paramètres cinétiques optimums à rechercher sous air

Merci